



Проблемы классической физики конца XIX века. Возникновение квантовой теории.

Коржавов Мустафа Жовлиевич

Каршинский инженерно-экономический институт, Старший преподаватель кафедры физики и электроники

Аннотация: *В статье рассмотрены проблемы классической физики конца XIX века, возникновение квантовой теории, строение атома, линейные спектры излучения и поглощения, значение квантовой теории в объяснении явлений фотоэффекта. В статье представлены важные с исторической, методологической, информативной и философской точек зрения.*

Ключевые слова: *классическая физика, квантовая теория, атом, линейные спектры излучения и поглощения, явление фотоэффекта.*

Рассмотрим подробнее как возникала квантовая физика, какие причины привели к её возникновению. Это рассмотрение важно с познавательной, исторической и философской точки зрения, так как показывает на наглядном примере, как развиваются научные теории. Понимание этого вопроса позволит нам в последующем легко отсеивать часто возникающие лженаучные теории, о которых, к сожалению, слишком часто говорят и пишут в «популярных» средствах массовой «информации».

Итак, первым необходимым шагом к возникновению новой теории, в чём-то ограничивающей область применения существующих теорий является появление объективно установленных фактов, которые нельзя объяснить существующими теориями. Что было известно в физике в конце XIX века? Довольно много: уже сложилась классическая механика (Ньютон, ок.1690; Лагранж, 1788; Гамильтон, 1833), термодинамика (Джоуль, Клаузиус, Больцман, Кельвин активно работали в середине-конце XIX века), электродинамика (уравнения Максвелла опубликованы в 1873 году). Известна история о том, как примерно в 1875 году молодой Макс Планк спросил своего профессора в университете Мюнхена Филиппа фон Жолли году о новых областях в физике и получил ответ: «В этой области знаний все уже открыто, осталось только уточнить кое-какие детали». Как оказалось, некоторые из этих «деталей» являлись указателями на пути к революционным изменениям в физике.

Среди них выделим и рассмотрим подробнее следующие:



1. Строение атома. Невозможность существования стабильного атома с точки зрения электродинамики.

2. Линейчатые спектры испускания и поглощения. Классическая теория не может объяснить почему испускание и поглощение света различными атомами происходит на дискретных частотах, связанных к тому же простыми алгебраическими соотношениями (например, для серии Бальмера в спектре атома водорода $\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right]$)

3. Фотоэффект. Невозможность объяснить красную границу фотоэффекта и зависимость энергии фотоэлектронов только от частоты.

Проблема 1. Строение атома. В 1897 году Дж.Дж.Томсон опубликовал свою работу об обнаружении частиц более мелких чем атомы. Фактически, этим было установлено существование электрона, как более мелкой составной части материи. После этого сразу возник вопрос об устройстве атома, который, как тогда уже было известно, в целом электронейтрален.

В попытке разрешить эту задачу Томсон предложил (1903) свою модель атома, в которой положительный заряд распределён непрерывно по объёму «атома», а электроны оказываются погружены в эту положительно заряженную каплю. Эта модель известна так же как «модель пудинга» — электроны напоминают изюминки в пудинге. Эта модель кажется странной сейчас, когда мы уже привыкли к планетарной модели Резерфорда-Бора. Однако надо заметить, что есть одно простое соображение из теории электричества, которое возможно подтолкнуло Томсона к его модели. Дело в том, что в электростатике строго доказывается, что система из точечных зарядов не может пребывать в статическом равновесии. То есть, вероятно, Томсону было прекрасно известно, что устроить равновесие между малым (точечным) электроном и малым (точечным) ядром невозможно. Модель, в которой электрон (этот результат был в числе тех, за которые Дж.Дж.Томсону была присуждена Нобелевская премия по физике) погружен в «пудинг» положительного заряда такого недостатка лишена. Например, для простейшего случая одного электрона и сферической «капли» положительного заряда для электрона есть положение устойчивого равновесия в центре «капли».

Дальнейшие исследования Резерфорда (1911, после присуждения ему нобелевской премии по химии в 1908 году) показали, что положительный заряд локализован. Это привело к планетарной модели атома — для обхода упомянутой выше статической нестабильности системы точечных зарядов электроны предположены движущимися по орбите вокруг массивного положительно заряженного ядра. При этом однако возникает проблема



связанная с электродинамикой: движение по окружности ускоренное, а ускоренно движущаяся частица излучает. Таким образом, движущийся по круговой орбите электрон должен все время излучать электромагнитные волны и, следовательно, терять энергию и, в конечном итоге, падать на ядро. Время жизни такого атома оказывается ничтожно малым.

Итак: эксперимент указывает на планетарную модель атома, однако такой атом не может существовать с точки зрения классической теории.

Проблема 2. Линейчатые спектры испускания и поглощения. В 1704 году в труде Ньютона «Оптика» было описано разложение белого света на составляющие. В начале XIX века Фраунгофер (1814) обнаружил что в спектре солнечного света существует свыше 500 тёмных линий (называемые теперь линиями Фраунгофера). В 1854 году Кирхгоф и Баузен начали изучать спектры пламени, окрашенного парами металлических солей, и пришли к выводу (1859), что яркие линии в спектре пламени совпадают с тёмными линиями, проявляющимися при пропускании через пламя «внешнего» света, а также к выводу о том, что эти линии уникальны для различных элементов (сравните серии спектральных линий для водорода и гелия на рисунках 2 и 3, многочисленные примеры спектров испускания и поглощения различных элементов могут быть найдены в литературе или на специализированных сайтах, например [3]).

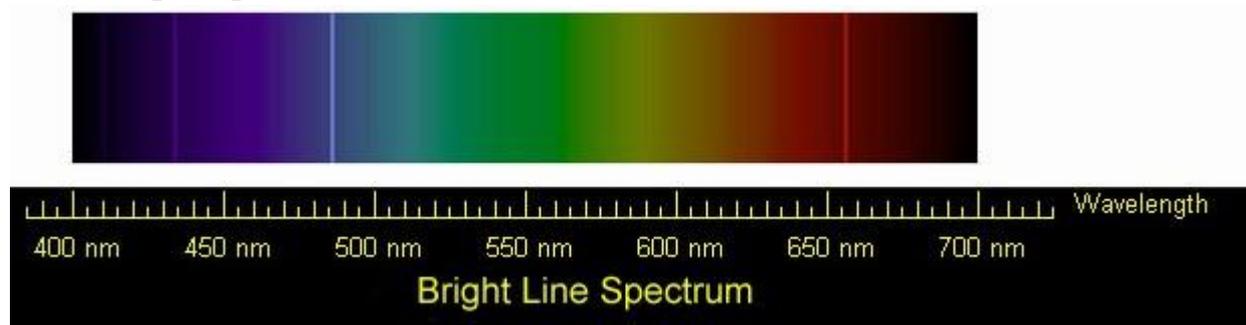


Рисунок 2. Серия Бальмера в спектре водорода. С сайта http://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/xray_generation_atom.html.

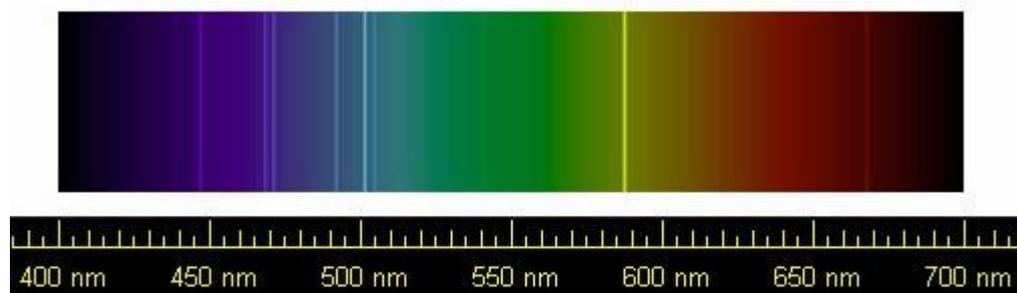




Рисунок 3. Спектральные линии гелия. С сайта http://imagine.gsfc.nasa.gov/educators/lessons/xray_spectra/worksheet-specgraph2-sol.html.

Эти наблюдения привели к развитию спектрального анализа — мощного метода бесконтактного определения состава тел. В частности было установлено присутствие на солнце натрия и калия (Кирхгоф). Позднее (1868) Пьер Жансен и Норман Локьер практически одновременно обнаружили в спектре Солнца жёлтую линию, не соответствующую никакому из известных элементов — так был открыт гелий. Он был получен в лаборатории только в 1895 году Уильямом Рамзаем и именно спектроскопия подтвердила, что этот элемент совпадает с «солнечным» элементом гелием. Исследования Рамзая были отмечены Нобелевской премии по химии 1904 года. Спектр излучения водорода показан на рисунке 2.

Яркие линии, попадающие в видимую часть спектра, называют серией Бальмера (длины волн четырёх видимых линий серии Бальмера: 656 нм, 486 нм, 434 нм и 410 нм). Серия Бальмера открыта Иоганном Бальмером в 1885 году. Кроме этого, известны серии спектральных линий в других областях спектра: серия Лимана (1906-1914) в ультрафиолетовой части спектра, серия Пашена (серия Ритца-Пашена) (1908) в инфракрасной части спектра, серии Бракетта (1922), Пфунда (1924), Хэмпфри (1953) и безымянные серии в области ещё более длинных волн. Оказалось удивительным, что все линии спектра водорода могут быть описаны простой эмпирической формулой Ридберга: $\frac{1}{\lambda} = R_H \left[\frac{1}{n_0^2} - \frac{1}{n^2} \right]$

Здесь R_H - постоянная Ридберга, для водорода, равная 109737 см^{-1} , а целое число n_0 - принимает разные значения для разных серий: $n_0 = 2$ для серии Бальмера, 1 - для серии Лимана, 3 - для серии Пашена, 4, 5 и 6- для серий Бракетта, Пфунда и Хэмпфри соответственно. Аналогичной формулой (с другим значением постоянной Ридберга) описывались спектры других водородоподобных атомов.

При этом классическая теория не может объяснить ни причины для появления дискретных линий в спектре излучения элементов, ни происхождение такого простого алгебраического правила, связывающего длины волн спектральных линий.

Проблема 3. Фотоэффект. Первые наблюдения влияния света на электрические свойства относятся к 1839 году, когда французский физик А.Э.Беккерель обнаружил, что ток в электролите немного увеличивается при облучении катода светом. Следующим важным наблюдением было открытие в 1873 году английским инженером В.Смитом увеличения проводимости селена



под действием сильного освещения — фактически это было открытие внутреннего фотоэффекта. Подробное исследование фотоэффекта началось с опытов Г.Герца (1887). Герц исследовал приём электромагнитных волн, в качестве «индикатора» использовался искровой промежуток — при принятии катушкой антенны электромагнитной волны возникающая ЭДС индукции проявлялась в виде искрового разряда. Для облегчения наблюдения Герц поместил разрядник в затемнённую коробку со стеклянным окном. При этом он заметил, что длительность разряда уменьшается. При удалении стеклянного окна длительность разряда увеличивалась. При замене стеклянного окна кварцевым (прозрачным в ультрафиолетовой области спектра) уменьшения длительности не наблюдалось. По результатам этих опытов Герц установил, что прохождение искры облегчается при облучении разрядника ультрафиолетом. Систематическое исследование фотоэффекта было предпринято в 1888-1890 году Александром Георгиевичем Столетовым (русский физик, заслуженный профессор Московского университета). Он разработал ставшую классической при исследовании фотоэффекта схему с двумя электродами: анодом-сеткой и сплошным катодом, к которым прикладывался внешний потенциал. В этих опытах А.Г.Столетов обнаружил возникновение фототока при облучении катода светом от вольтовой дуги. Столетову пришлось преодолеть много технических трудностей: например, напряжение до 200 В на электродах приходилось получать набором элементов Вольта или подобных, свет вольтовой дуги был нестабилен по интенсивности (её питали от генератора, городской сети электроснабжения в лаборатории изначально не было) и для проведения количественных измерений пришлось разработать методику при которой в ходе опыта постоянно регистрировалась и интенсивность света. В результате опытов Столетовым установлен первый закон фотоэффекта (закон Столетова): фототок прямо пропорционален интенсивности падающего на фотокатод света (облучение анода не вызывает появления фототока). В 1902 году Филипп фон Ленард (Нобелевский лауреат по физике 1905 года за работы по «катодным лучам» - т.е. за исследования потока электронов от катода в вакуумной трубке) установил, что запирающее напряжение, останавливающее фототок, определяется длиной волны облучающего излучения, а не его интенсивностью, причём с уменьшением длины волны запирающее напряжение растёт. По техническим причинам (быстрое окисление фотокатода) Ленард не смог получить количественных результатов, связывающих длину волны (частоту) излучения с величиной запирающего напряжения. Позднее, уже после появления работы Эйнштейна по фотоэффекту, Милликен провел



серию точных опытов (1905-1916), в которых качественные наблюдения Ленарда были подтверждены. Результаты опытов Милликена и Ленарда обобщаются в ещё два закона фотоэффекта:

- максимальная скорость фотоэлектронов (величина запирающего напряжения) определяется только частотой излучения и не зависит от частоты.
- существует зависящая от материала фотокатода «красная граница фотоэффекта»: при облучении фотокатода излучением с длиной волны меньшей граничной фототок не возникает.

С точки зрения классической теории, о фотоэффекте можно было бы рассуждать, как о взаимодействии электронов катода с полем падающей волны. В рамках этих представлений закон Столетова (зависимость фототока от интенсивности излучения) выглядит достаточно естественно: чем больше интенсивность, тем больше амплитуды поля в волне, тем сильнее они действуют на электроны, тем больше электронов создаёт фототок. Однако классическая теория не может объяснить существование красной границы фотоэффекта (ниже которой никакая интенсивность излучения не приводит к фототоку!) и зависимость максимальной скорости электронов только от частоты излучения.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Tursunov Q.SH., Korjavov M.J., Olamning fizik manzarasi–umumlashtirish metodi sifatida. Muqallim ham uzliksiz bilimlendiriy. №3 2021 жыл. Илмий-методикалык журнал.
2. Korjavov M.J., Fizika darslarida tarixiylik tamoyillaridan foydalanishning ahamiyati. Eurasian journal of social sciences, philosophy and culture. Innovative Academy Research Support Center. www.in-academy.uz, <https://doi.org/10.5281/zenodo.5774556>, 10.12.2021yil.
3. Korjavov M.J., Fizika-matematika mutaxassisliklari talabalarida modellashtirish kompetensiyasini shakllantirish. O‘z.R.Oliy va o‘rta maxsus ta’lim vazirligi. Namangan DU Axborotnomasi, 2022 yil 1-son, ISSN: 2181-0427: ISSN:2181-1458. 603–608 betlar.
4. Korjavov M.J., Some Methodological Methods Of Solving Issues From Quantum Physics. Texas Journal of Multidisciplinary Studies ISSN NO: 2770-0003 <https://zienjournals.com> Date of Publication: 18-02-2022.



5. Korjavov M.J., Nochiziqli optikaning kvant effektlari. Educational Research in Universal Sciences ISSN: 2181-3515 VOLUME 1 | ISSUE 5 | 2022 https://t.me/Erus_uz Multidisciplinary Scientific Journal October, 2022 33.

6. Korjavov M.J., Kvant fizikasida determinizm tamoilini rad etish. Results of National Scientific Research Scientific-Methodical Journal Volume 1. Issue 8 2022 SJIF- 4.431 ISSN: 2181-3639 Published: 2022-11-07. Page 220-229. <https://academicsresearch.com/index.php/rnsr>

7. Jovliyev Sarvar Mustafo o'g'li. (2022). TEXNIKA OLIY O'QUV YURTLARI TA'LIMIDA KEYS TEXNOLOGIYASIDAN FOYDALANISH // EURASIAN JOURNAL OF ACADEMIC RESEARCH, 2(5), 791–794 <https://doi.org/10.5281/zenodo.6590349>

8. Jovliyev Sarvar Mustafo o'g'li. (2022). MAHSULOT SIFATINI BOSHQARISH VA TAXLIL QILISH STATISTIK USULLARINING YETTI INSTRUMENT USULLARI // EURASIAN JOURNAL OF ACADEMIC RESEARCH, 2(6), 41–45. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6616058> <https://www.in-academy.uz/index.php/ejar>

9. Raximov A.X., Jovliyev S.M. Xolbutayeva X.E. Radio monitoring and recognition of radio emissions radio electronic equipment //International Journal For Innovative Engineering and Management Research. –2021, April. –Т.10. №.4. –С. 506-507. <https://ijiemr.org/downloads/Volume-10/Issue-4>

10. Тураев З.Б., Юсупов Р.Э., Эшонкулов М.Н., Жовлиев С.М., Алмарданов Х.А., Хатамов И.А. Применение солнечных концентраторов для приема альтернативного топлива через устройство гелиопиролиза //UNIVERSUM: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. – 2021, Март. –№. 3(84). С. 8-11. <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11381>